



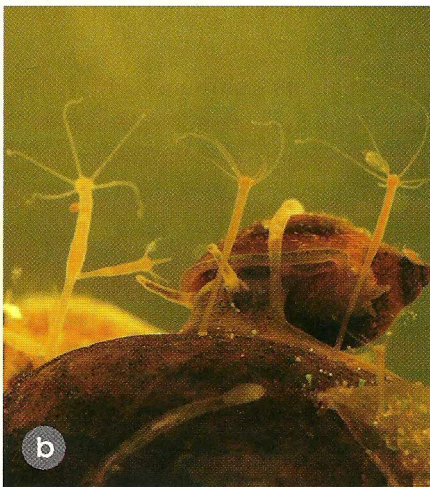
2. Circulación en animales



Los animales son organismos pluricelulares que, en su mayoría, poseen un sistema circulatorio especializado (aunque algunos carecen del mismo). Esto hace que los mecanismos de transporte de sustancias sean muy diversos.

En los animales el contenido hídrico corresponde a un porcentaje entre el 60% y el 80% de su peso, debido a que tienen los llamados **compartimentos hídricos**, que son cavidades que almacenan agua. Los compartimientos pueden ser **extracelulares** cuando rodean las células o **intracelulares**, cuando se encuentran en el interior de estas.

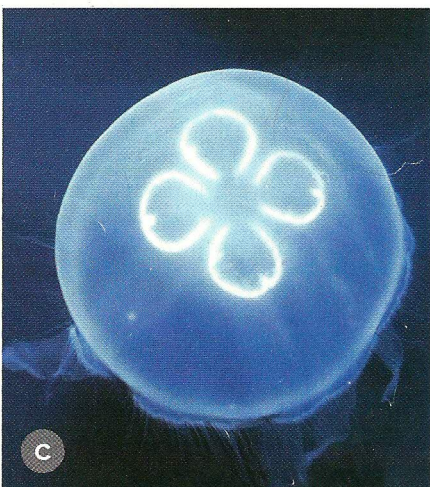
En vertebrados y algunos invertebrados, como los anélidos, el fluido extracelular se subdivide en *plasma* y *líquido intersticial*. El plasma circula dentro de conductos denominados **vasos sanguíneos** y el **líquido intersticial** se encuentra alrededor de las células. La presencia de este líquido pone en evidencia que las sustancias que se intercambian entre la célula y su medio deben atravesar el líquido intersticial.



2.1 Animales sin sistema circulatorio

Los animales relativamente más sencillos, como los pertenecientes a los poríferos, celenterados y platelmintos, no poseen un sistema circulatorio. En estos organismos, los nutrientes y el oxígeno llegan directamente a todas sus células por medio de difusión. Sin embargo, para que esto sea posible, el animal debe ser pequeño y tener pocas capas de células. Estos animales utilizan el medio externo como líquido circulante, ya que el agua aporta alimento filtrable y oxígeno, para bañar los tejidos.

Los **poríferos** como las esponjas (figura 10a) tienen una cavidad gastrovascular y unos poros alrededor del cuerpo que se abren o cierran según la necesidad de incorporar nutrientes y oxígeno, lo cual permite un intercambio permanente de estas sustancias y la eliminación de sustancias de desecho. La difusión del oxígeno se facilita con el movimiento del agua.



Los **cnidarios**, como la hidra, poseen una estructura corporal en forma de saco (figura 10b), cuya pared posee dos capas de células que rodean la **cavidad gastrovascular** con función doble: digestión y distribución de sustancias a través del cuerpo del animal. Tanto la capa celular externa como la interna están bañadas en fluido.

Algunas **medusas** poseen cavidades gastrovasculares modificadas en canales llenos de agua que se ramifican por todo el animal. Algunas células de estos canales poseen cilios que ayudan a mover el agua y los nutrientes, que ingresan por la boca, desde las bolsas gástricas hacia el resto del cuerpo (figura 10c).

En **platelmintos** como las **planarias**, existen cavidades gastrovasculares por medio de las cuales se intercambian materiales con el medio a través de una sola apertura. Su forma plana y la ramificación de la cavidad garantizan que todas las células estén bañadas por el fluido disponible.

Figura 10. Algunos animales como las esponjas (a), las hidras (b) y las medusas (c) tienen cuerpos formados por un reducido número de capas, lo cual les permite intercambiar nutrientes y gases mediante difusión. En ellos, se realiza una circulación intercelular.



2.2 Sistemas circulatorios en los animales

La mayoría de los animales posee un **sistema circulatorio** especializado para transportar nutrientes y gases respiratorios a todos los tejidos del cuerpo. Tal sistema varía de unos organismos a otros en su complejidad.

Organización del sistema circulatorio animal

En general, el sistema circulatorio está formado por el *corazón*, los *vasos* y un *líquido circulante*.

El **corazón** es un órgano muscular que impulsa los líquidos circulantes por todo el sistema. Existen varios tipos de corazones: *tubulares*, *tabicados* y *accesorios*. El corazón **tubular** es el más sencillo y está formado por vasos pulsátiles que impulsan los líquidos a través de ondas de contracción peristáltica (figura 11a). El corazón **tabicado** tiene cavidades llamadas **aurículas** y **ventrículos**, separados por válvulas (figura 11b). Los corazones **accesorios** son corazones que suelen situarse cerca de las branquias y contribuyen con el proceso de oxigenación (figura 11c).

El **líquido circulante** es el fluido que transporta las diferentes sustancias, ya sea en disolución o unidas a determinados **pigmentos respiratorios**. Estos son moléculas orgánicas formadas por una proteína y una partícula cargada eléctricamente (ion), que tiene gran afinidad por el oxígeno. Dependiendo del grupo animal, existen diferentes líquidos de transporte:

- La **hidrolinfa** es un líquido incoloro, que posee una composición de sales similar a la del agua de mar. Contiene **amebocitos**, células fagocitarias con función defensiva. Este líquido es propio de los equinodermos, como la estrella de mar.
- La **hemolinfa** es un líquido cuyo pigmento respiratorio es la **hemocianina**, de color azul, en el cual también hay **amebocitos**. Es propia de artrópodos, como los escarabajos, y moluscos, como los caracoles.
- La **sangre** es un líquido que posee hemoglobina (rojo), hemoeritrina (rojo violeta) o cloroclorina (verde) como pigmentos respiratorios. En los vertebrados, la hemoglobina, que posee iones de hierro, se encuentran dentro de células especializadas, denominadas **eritrocitos**. La sangre es propia de anélidos, como las lombrices de tierra, y de vertebrados, como los mamíferos.
- La **linfa** es un líquido exclusivo de vertebrados que drena o hace correr los líquidos intersticiales, es decir, aquellos que hay entre las células.

Los **vasos conductores** son tubos de diferente calibre por cuyo interior circulan los líquidos de transporte a todas las partes del organismo. Estos vasos son de tres tipos: *arterias*, *venas* y *capilares*. Las **arterias** transportan el líquido circulatorio desde el corazón hacia los demás órganos. Las **venas** transportan el líquido circulatorio hacia el corazón; y los **capilares** son vasos muy finos que ponen en contacto las arterias y las venas, y llegan a cada una de las células del organismo.

MISTERIO CIENTÍFICO

Un anfibio de América del Norte llamado **tritón de manchas rojas** es capaz de regenerar el corazón y su función cardíaca en menos de dos semanas. Para ello, las células del corazón pierden sus características normales y vuelven al estado de no diferenciadas. Así pueden construir el nuevo músculo cardíaco mediante una división celular masiva y, al final del proceso, las células recuperan sus características cardíacas.

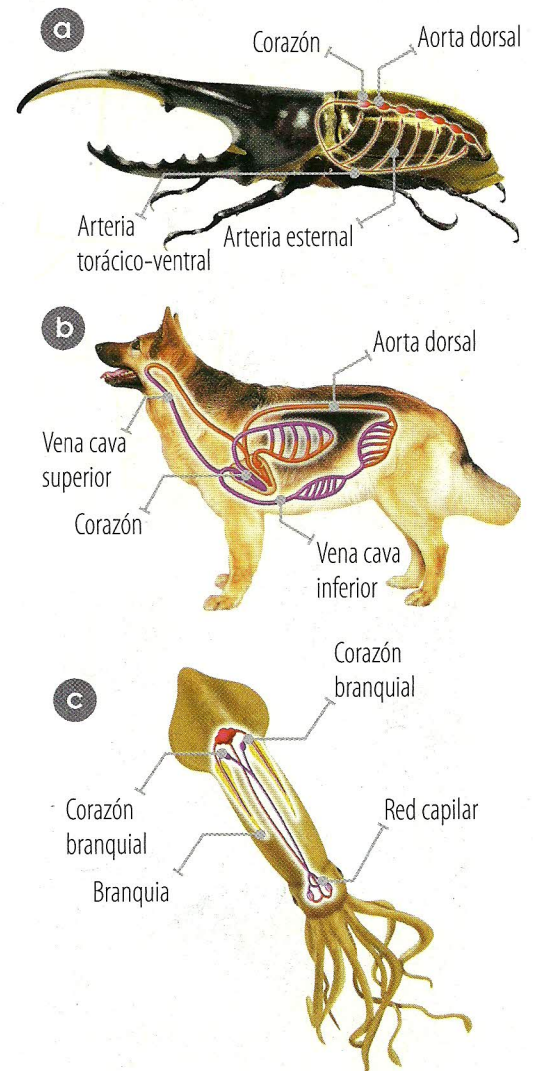


Figura 11. El corazón bombea el líquido circulatorio a través de vasos conductores. Su forma puede ser: (a) tubular como el de los insectos, (b) tabicado o con cámaras como el corazón de los mamíferos o (c) accesorio como en los cefalópodos.



2.3 Tipos de sistemas circulatorios

De acuerdo con la existencia o no existencia de conexión entre los vasos, se distinguen dos tipos de sistemas circulatorios: el *sistema circulatorio abierto* y el *sistema circulatorio cerrado*.

2.3.1 Sistema circulatorio abierto

El **sistema circulatorio abierto** también es denominado **lagunar**. Como se ve en la figura 12, en este tipo de sistema circulatorio, el líquido circulatorio llamado **hemolinfa** circula por los vasos y se vierte en lagunas o espacios denominados **hemocele**, cuyo volumen ocupa entre el 20% y 40% del cuerpo del animal. De esta forma, el líquido entra en contacto con todas las células y se realiza el intercambio de nutrientes y gases. Posteriormente, el líquido vuelve al circuito a través de otros vasos que lo recogen de esas lagunas. Este tipo de sistema es propio de muchos invertebrados como artrópodos (arañas y mosquitos) y moluscos (caracoles y almejas).

Los **artrópodos**, como los insectos, tienen un corazón tubular con paredes musculosas, situado en posición dorsal y rodeado de una **cavidad pericárdica**. La hemolinfa ingresa primero en la cavidad y después en el corazón mediante succión, a través de una serie de orificios u **ostíolos** provistos de válvulas que impiden su retorno. Las contracciones del corazón impulsan la hemolinfa hacia las arterias, que la distribuyen por todo el cuerpo y la vierten en el hemocele para que, luego, vuelva al corazón por las venas.

Los **moluscos** tienen un corazón tabicado, situado dentro de una **cavidad pericárdica** y conectado con vasos que permiten que la hemolinfa entre y salga de él. Habitualmente, el corazón tiene tres cavidades o cámaras, dos aurículas que reciben hemolinfa desde las branquias y un ventrículo que la bombea a los demás órganos corporales. En moluscos terrestres, como el caracol, el corazón tiene solo dos cámaras en el interior de la cavidad pericárdica. Excepto los cefalópodos, todos los moluscos tienen circulación abierta, y la hemolinfa pasa desde el hemocele, que es muy reducido, hacia las branquias, o el pulmón en el caso de los moluscos terrestres, y luego al corazón. No se producen grandes presiones, pues la hemolinfa se saldría de los vasos. Por esta razón, la circulación a través de las branquias es muy lenta y en ocasiones es auxiliada por **corazones branquiales**.

El sistema circulatorio abierto es poco eficiente, limita las distancias de transporte y, por tanto, influye en el tamaño del animal, que generalmente es pequeño.

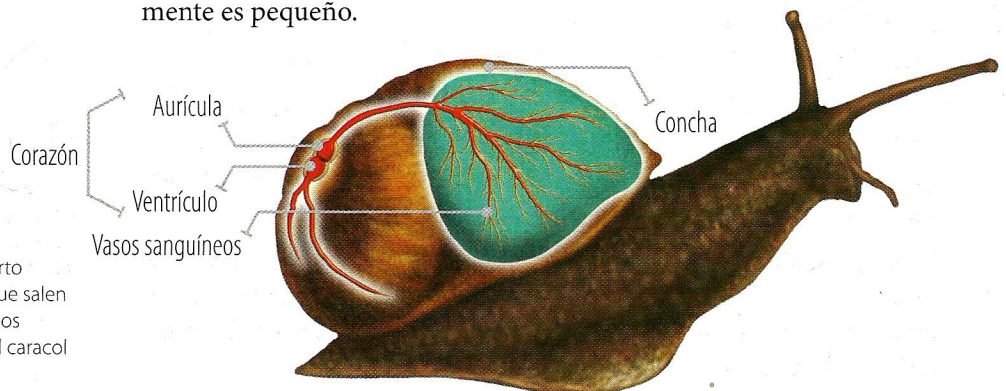


Figura 12. En el sistema circulatorio abierto no existen vasos conductores entre los que salen del corazón y los que llegan. Los crustáceos como el cangrejo y los moluscos como el caracol poseen *sistema circulatorio abierto*.

MISTERIO CIENTÍFICO

Los primeros insectos eran de un tamaño hasta tres veces mayor que los que vemos actualmente. Existen diferentes hipótesis que tratan de explicar la razón de esto. Una de ellas explica que la atmósfera primitiva era más rica en oxígeno y que esto influyó positivamente para que tuvieran cuerpos más grandes. Esta teoría se confirma después de unas investigaciones realizadas con escarabajos de distintos tamaños, que muestra que entre más grandes son los escarabajos, mayor cantidad de oxígeno transportan sus "tráqueas", especialmente las tráqueas de las patas.



2.3.2 Sistema circulatorio cerrado

Los vertebrados y algunos pocos grupos de invertebrados, como los anélidos y los moluscos cefalópodos, poseen un sistema de tubos elásticos o conductos por donde se transporta el fluido circulante, denominado **sangre**. Los animales de sangre fría no poseen mecanismos para mantener la temperatura constante, sino que generalmente adoptan la del medio ambiente; en cambio, los animales de sangre caliente poseen mecanismos reguladores de la temperatura de su cuerpo y la mantienen constante, independientemente del ambiente que les rodea.

La sangre sale del corazón por estos tubos y después de su recorrido, regresa nuevamente a él sin salirse en ningún momento de los vasos sanguíneos. Este tipo de sistema se conoce con el nombre **sistema circulatorio cerrado**. En el sistema circulatorio cerrado, las arterias y venas se conectan mediante una red de capilares de paredes muy finas, a través de las cuales se produce el intercambio de sustancias como nutrientes, gases o productos de excreción (ver figura 13).

Los sistemas circulatorios cerrados pueden presentar dos tipos de circulación: *simple* y *doble*.

- La **circulación simple** presenta un solo circuito y la sangre pasa una sola vez por el corazón, al dar una vuelta completa al circuito a lo largo del cuerpo. Se presenta en animales como los peces, los cuales poseen un corazón constituido por un seno venoso, una aurícula y un ventrículo muy musculoso. El seno venoso recoge la sangre del cuerpo que pasa de la aurícula al ventrículo. La contracción de la aurícula impulsa la sangre por el tronco arterial hacia los arcos aórticos, que se hallan en contacto con la arteria aorta, la cual, a su vez, la distribuye por todo el cuerpo del animal. De esta forma, el corazón impulsa solamente la sangre venosa, nunca la sangre oxigenada (figura 13a).
- En la **circulación doble**, como su nombre lo indica el circuito es doble y la sangre pasa dos veces por el corazón, al dar una vuelta recorriendo los *circuitos mayor y menor*. El **circuito menor o pulmonar**, corresponde al recorrido de la sangre desde que sale del corazón hacia los pulmones donde se oxigena, hasta cuando vuelve de nuevo al corazón. El **circuito mayor o sistémico**, corresponde al recorrido de la sangre rica en oxígeno desde que sale del corazón y se distribuye por todos los órganos, a los que cede el oxígeno y de los que toma el dióxido de carbono hasta que la sangre retorna al corazón para iniciar nuevamente la circulación menor.

Este tipo de circulación es propia de vertebrados terrestres de respiración pulmonar. Según si ocurre o no ocurre mezcla de ambos circuitos, la circulación doble puede ser *completa* o *incompleta*.

La **circulación doble incompleta** (figura 13b) ocurre cuando hay un solo ventrículo. La sangre rica en oxígeno y la sangre pobre en oxígeno se mezclan parcialmente en el corazón. Se presenta en anfibios y en reptiles, a excepción de los cocodrilos.

La **circulación doble completa** (figura 13c) es el tipo de circulación donde la sangre rica en oxígeno no se mezcla con la sangre pobre en oxígeno proveniente de la circulación mayor, pues existen dos ventrículos. Es propia de cocodrilos, aves y mamíferos.



MENTES BRILLANTES

Algunos ejemplares de la ballena azul alcanzan a medir 33 m de longitud y pesan hasta 190 toneladas. Su corazón puede ser tan grande como un automóvil pequeño, y algunas de sus venas tienen hasta 1,80 m de diámetro. Su ritmo cardíaco en momentos de esfuerzo es de tan solo 18 a 20 pulsaciones por minuto en contraste con las 120 de una persona normal en condiciones similares.

Analiza

¿Cómo justificarías algunas características del sistema circulatorio de la ballena azul?

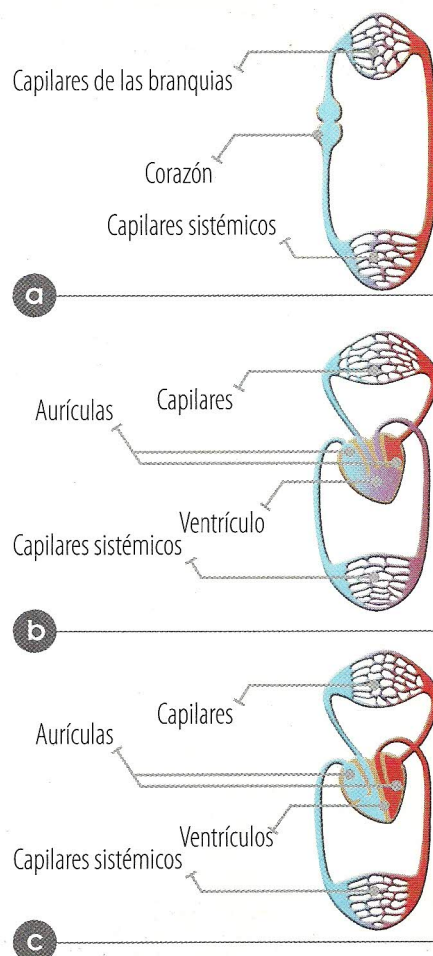


Figura 13. El sistema circulatorio cerrado tiene vasos finísimos que conectan los capilares venosos con los arteriales formando un circuito cerrado, donde la sangre circula siempre por el interior de los vasos sanguíneos. Según las veces que la sangre pasa por el corazón, la circulación cerrada puede ser: (a) simple, (b) doble incompleta o (c) doble completa.



2.4 Sistema circulatorio en invertebrados

MISTERIO CIENTÍFICO

El pulpo es un molusco marino, de costumbres carnívoras que vive en aguas de los mares templados y tropicales. Su cuerpo es blando, tiene un cerebro grande y ocho brazos con ventosas. Cuando se sienten atacados, aspiran agua hacia la cavidad del manto y la expulsan con una sustancia oscura que puede tener un efecto paralizante. El color de su sangre es azul debido a que utilizan **hemocianina** (que contiene cobre), en lugar de **hemoglobina** (que contiene hierro), como molécula transportadora de oxígeno.

Los **moluscos cefalópodos** como pulpos y calamares, tienen tamaños mayores que el resto de moluscos y también un metabolismo más intenso. Debido a esto, requieren nutrientes y oxígeno de manera regular y en grandes cantidades. Estos animales presentan un **corazón sistémico** encerrado en un espacio celómico y dos **corazones branquiales**. El **corazón sistémico** tiene un ventrículo del que parten las arterias principales y dos aurículas que reciben la sangre arterial de las branquias. Los **corazones branquiales** están situados en las branquias y su función es aumentar la presión sanguínea y bombear sangre hacia las branquias, ricas en vasos capilares para realizar la oxigenación e impulsar nuevamente la sangre al corazón (figura 14).

Los **anélidos** son los gusanos segmentados más simples que tienen un sistema circulatorio cerrado, formado por una serie de estructuras diferenciadas (algunas tienen hasta cinco corazones) como órganos de propulsión, arterias de distribución, capilares de intercambio, venas de retorno y sangre. Aunque la estructura es sencilla, el sistema circulatorio de las lombrices permite un intercambio rápido y eficiente de sustancias: un **vaso dorsal** impulsa la sangre mediante movimientos peristálticos hacia el extremo anterior, donde se encuentran cinco **arcos aórticos** que envían la sangre a un **vaso ventral**, encargado de distribuirla por todo el cuerpo. Entre ambos existen vasos laterales en cada segmento, que unen los dos vasos principales. A partir de estos vasos se desarrolla un amplio sistema capilar. No existe un órgano impulsor exclusivo de sangre, sino que esta se distribuye por todo el cuerpo gracias a los vasos contráctiles. La lombriz no tiene pulmones, así que el intercambio gaseoso lo hace a través de su piel. Debido a su forma de locomoción, que consiste en contraer sus músculos y deslizarse, requiere un sistema circulatorio muy eficiente para nutrir permanentemente a las células musculares. Se ha observado que algunas lombrices son capaces de remover piedras que tienen más de cincuenta veces su masa, o penetrar sin dificultad en terrenos compactados (figura 15).

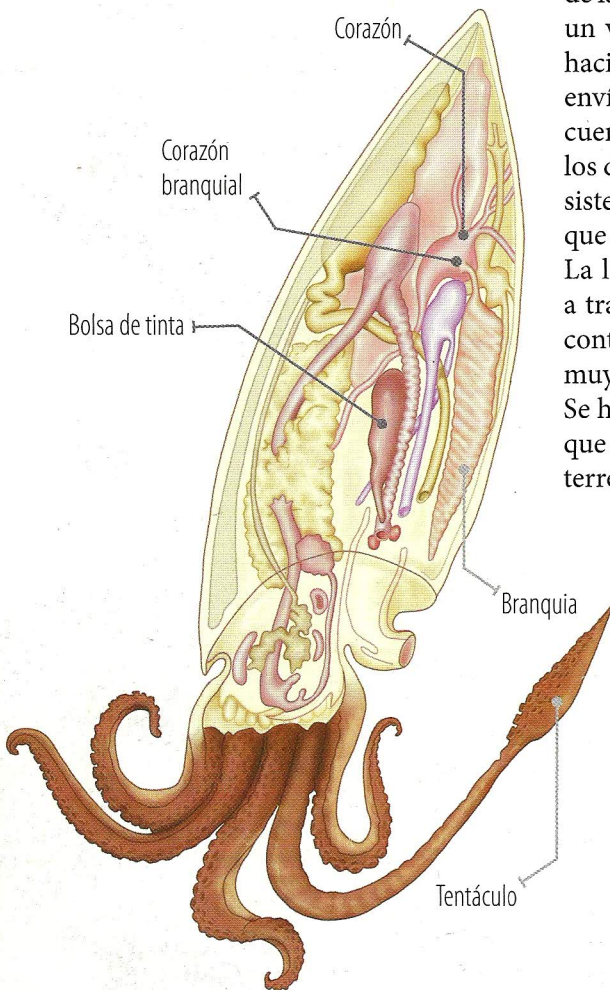


Figura 14. El sistema circulatorio de los cefalópodos es cerrado y posee características especiales que lo hacen diferente al de los demás moluscos. Identifica algunas de estas características.

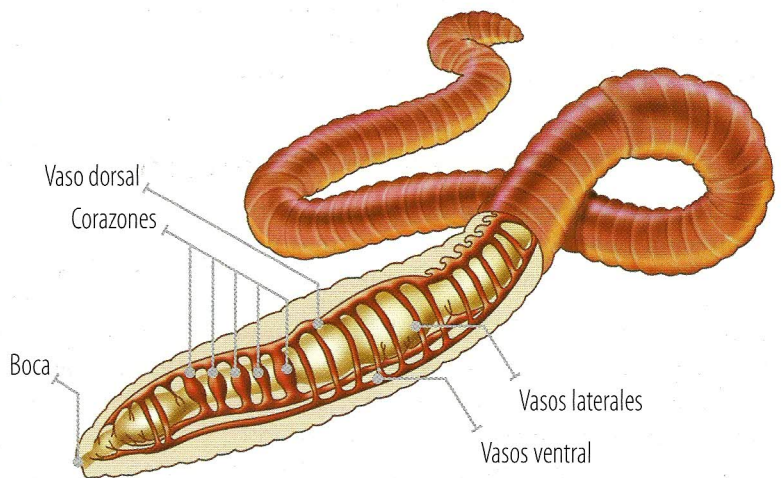


Figura 15. El sistema circulatorio de la lombriz es cerrado. ¿Qué ventaja crees que tiene para los anélidos el hecho de que posean, en los vasos laterales de los segmentos más anteriores de su cuerpo, engrosamientos que actúan como corazones?



2.5 Sistema circulatorio en vertebrados

En los vertebrados, la sangre realiza un gran recorrido por el interior de los vasos. El **corazón** es un fuerte órgano impulsor que genera mucha presión. Este órgano está formado por potentes paredes musculares y se encuentra en posición ventral, al contrario de lo que sucede en los invertebrados. La principal diferencia que existe entre los distintos sistemas circulatorios de los vertebrados radica en el número de cavidades de su corazón.

2.5.1 Circulación en peces

En los peces, el **corazón** está dividido en dos cámaras: una **aurícula**, cavidad que recibe la sangre, y un **ventrículo** que impulsa la sangre hacia las branquias. En estas últimas, la sangre se oxigena y cede el dióxido de carbono, después recorre la arteria aorta dorsal hacia los órganos. El retorno al corazón se hace por venas que dan a una cámara alargada, el seno venoso, anterior a la aurícula (figura 16a).

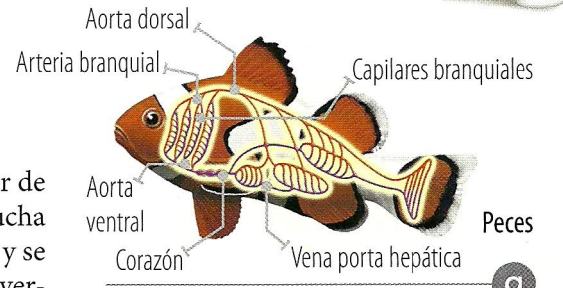
2.5.2 Circulación en anfibios y reptiles

El corazón de los renacuajos funciona como el de un pez. El **corazón** de los anfibios adultos es **tabicado**, es decir, está dividido en dos aurículas y un ventrículo. La **aurícula izquierda** recibe sangre rica en oxígeno desde los pulmones y la **aurícula derecha** recibe sangre pobre en oxígeno que proviene desde los demás órganos. De las aurículas, la sangre pasa al único **ventrículo** que, aunque no está tabicado, por su estructura interna especial, impide la mezcla completa de sangre en su interior. Los vasos que van hacia los pulmones tienen ramas que se dirigen a la piel, donde también se realiza el intercambio de gases con el medio (figura 16b).

El **corazón** de los reptiles, igual que en los anfibios, tiene tres cavidades, es decir, dos **aurículas** y un **ventrículo**. En este grupo, el ventrículo tiene una ligera separación en dos mitades; incluso, en el caso de los cocodrilos, ya existe un corazón con dos aurículas y dos ventrículos totalmente separados como en las aves y los mamíferos (figura 16c).

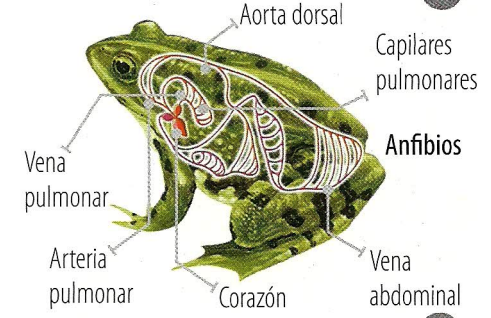
2.5.3 Circulación en aves y mamíferos

Las aves y los mamíferos tienen **circulación doble y completa**. El **corazón** está dividido en cuatro cavidades: dos **aurículas** y dos **ventrículos**. La zona derecha recibe sangre pobre en oxígeno, proveniente de los órganos, y la envía a los pulmones. La parte izquierda recibe sangre rica en oxígeno, proveniente de los pulmones, y la envía a todo el cuerpo. Este sistema proporciona una alta presión sanguínea en todo el recorrido, ya que funciona como si fueran dos bombas independientes. Una de las principales diferencias entre el sistema circulatorio de aves y mamíferos es que en las aves el arco que forma la arteria aorta se dirige al lado derecho del cuerpo y en los mamíferos, se dirige hacia el lado izquierdo (figuras 16c y 16d).



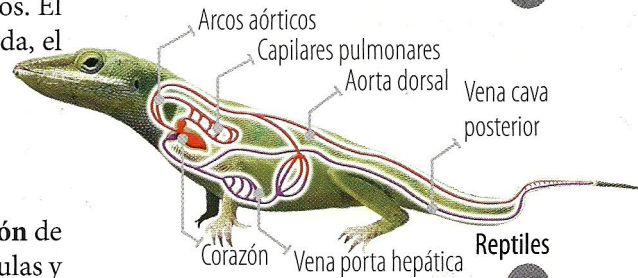
Peces

a



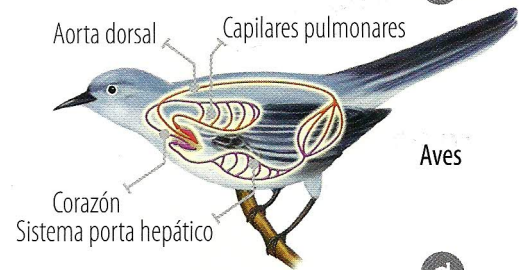
Anfibios

b



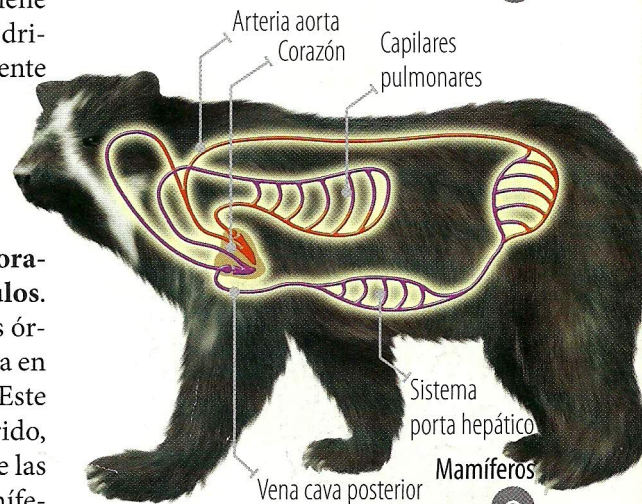
Reptiles

c



Aves

d



Mamíferos

e

Figura 16. El sistema circulatorio de los vertebrados evidencia fuertes semejanzas. Observa las imágenes. ¿Qué sistemas circulatorios son más parecidos entre sí? ¿Cuál consideras más eficiente y por qué?